

1層毎交互巻高周波アモルファストランスを有する 洋上風力直流送電用DC-DCコンバータに関する研究

著者	大津 諭史
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	232-233
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00129083

修士学位論文要約（令和 2 年 3 月）

1 層毎交互巻高周波アモルファストランスを有する 洋上風力直流送電用 DC-DC コンバータに関する研究

大津 諭史

指導教員：中村 健二

A Study of DC-DC Converter having High-Frequency Amorphous Transformer with Interleaved-Winding for HVDC Transmission System of Offshore Wind Farm

Satoshi OTSU

Supervisor: Kenji NAKAMURA

In large-scale offshore wind-power generation, high voltage dc (HVDC) transmission system using dc-dc converters has attracted the attention in order to reduce the size and weight and to improve the system efficiency. In a previous paper, it was demonstrated that the copper loss of high-frequency transformer can be remarkably reduced by employing interleaved-winding since proximity effect is suppressed. This paper described prototype tests of a small-scale dc-dc converter using the high-frequency amorphous transformer with interleaved-winding. The efficiency of the dc-ac converter, transformer, diode rectifier, and the whole system are measured and compared to prove the superiority of the interleaved-winding against a conventional non-interleaved-winding.

1. はじめに

近年、地球環境保護の観点から再生可能エネルギーの一つである風力発電市場が伸長している。洋上風力発電は、他の再生可能エネルギーと比較して、発電コストが安価で設備利用率が高く、スケールメリットが大きいことから主要なエネルギー源として注目されている。洋上風力発電は初期投資が膨大であることから実現には高効率かつ低コストとなる長距離送電技術の確立が必須である。そのシステムとして近年有力視されているのが、高周波リンク DC-DC コンバータを用いた、高圧直流 (High Voltage Direct Current: HVDC) 送電である。先行研究では、上述のシステムにおいて、DC-DC コンバータの通流率制御をすることで、風況等による出力変動が生じて、DC リンク電圧を一定に制御できることを実証した¹⁾。また、高周波化によって、トランスは小型軽量化される一方で、鉄損の増加および巻線間に働く近接効果による銅損の増加が懸念されるが、動作周波数が数 kHz のトランス材料には、アモルファス合金が適すること、近接効果による銅損増加の抑制には、1 層毎交互巻を有効であることを明らかにした¹⁾。ただし、DC-DC コンバータに 1 層毎交互巻高周波アモルファストランスを用いた場合の挙動や効率などの諸特性に関する検討は未だ不十分である。そこで、本研究では 1 層毎交互巻高周波トランスを有する DC-DC コンバータの効率改善効果の実機検証と動作解析を行ったので報告する。

2. 洋上風力発電システムの構成と原理

図 1 に、絶縁と昇圧の機能を具備した高周波リンク DC-DC コンバータを用いた、HVDC システムの基本構成を示す。本システムでは、風車で発電された交流電力を整流した後、DC-DC コンバータの DC/AC 変換部で周波数が数 kHz の方形波電圧を生成し、高周波トランスによって昇圧後、再び AC/DC 変換部で整流して、HVDC 送電を行う。DC/AC 部において、制御装置(DSP)が DC リンク電圧を検出し、指令値に応じた PWM 信号を出力することで DC リンク電圧を一定に制御することができる。

DC-DC コンバータに用いる 1 層毎交互巻トランスの形状を図 2 に示す。鉄基アモルファス合金の最も大きな長所として鉄損が従来の方向性ケイ素鋼板の約 40% であることや高周波時の渦電流損が小さいことが挙げられる。高周波電流が流れる変圧器の巻線では、素線内の表皮効果、および素線間に作用する近接効果による交流抵抗の増加が顕著であり、高周波銅損が増大する。巻線を 1 層毎交互に配置することに

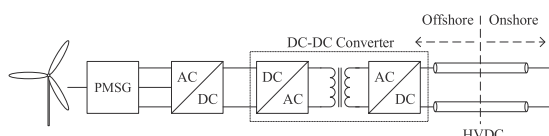


図 1. 洋上風力発電システムの構成

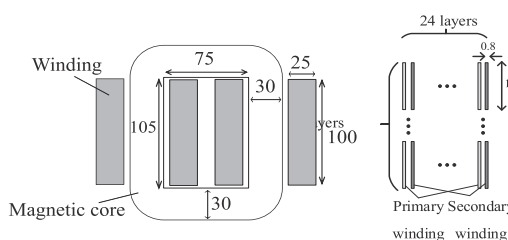


図 2. 1 層毎交互巻トランスの形状

より、隣接する導体を流れる電流を互いに逆向きにする事で磁界が打ち消され、近接効果による交流抵抗が抑制される。通常、重ね巻にすることで漏れ磁束を小さくできることが一般的に知られているが、一次巻線と二次巻線を交互に配置した 1 層毎交互巻は磁氣的結合が極めて強くなって漏れ磁束が更に小さくなる。

3. DC-DC コンバータの効率改善効果の実機検証

1 層毎交互巻トランスと一般的な巻線配置である単純重ね巻トランスを用いて、DC-DC コンバータの電力伝送効率を測定した。実験回路を図 3 に示す。本研究においては、風車側は最大電力追従制御により風力発電機の巻線電流が制御されることから入力側を電流源で模擬する。一方、出力側は系統側が常に一定に制御されていることから定電圧源で模擬する。出力電力が 3kW となるように通流率を調整し、送電実験を行った際の DC-DC コンバータ総合効率を示す。1 層毎交互巻トランスを用いることにより、インバータ効率は約 0.5%、トランス効率は 3~5% 程度効率が改善される結果が得られた。

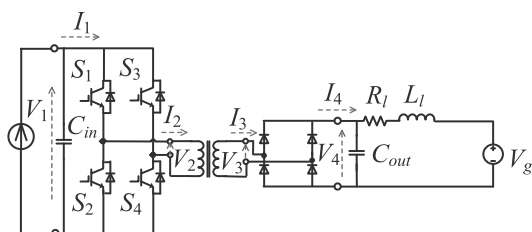


図 3. DC-DC コンバータ効率測定実験回路構成

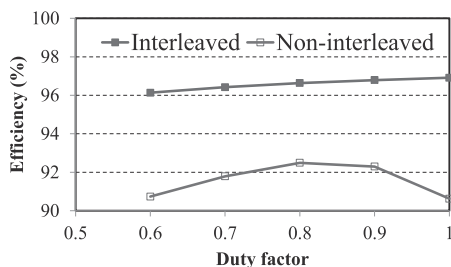


図 4. DC-DC コンバータ総合効率

4. DC-DC コンバータの動作解析

1 層毎交互巻トランスのモデリングは、一般的な T 型等価回路に巻線間の静電容量を考慮したコンデンサを並列接続して、汎用回路シミュレータにて行った。回路パラメータは LCR メータにて実測した値を用いた。図 3 と同様の回路を汎用回路シミュレータにて構築し、DC-DC コンバータの動作解析を行った際の 1 層毎交互巻トランスモデルにおけるトランス波形を図 5 に示す。また、実測波形を図 6 に示す。図 5 および図 6 の波形の比較により、巻線結合が極めて高く電圧値と位相がほぼ一致している点、電流振動や電流減衰の仕方の観点から、1 層毎交互巻トランスのモデリングは精度よく行えていることが了解される。

5. まとめ

以上、本稿では 1 層毎交互巻高周波トランスを DC-DC コンバータに組み込んだ際の効率改善効果の実機検証を行い、効率が 3~5% 改善されることが実証された。また、1 層毎交互巻トランスを精度よく模擬することができることを実証した。

文献

- 1) 藤井孝紀・中村健二，“洋上風力直流送電システム用 DC-DC コンバータに関する研究”東北大学修士学位論文 (2018)
- 2) 田中秀明，中村健二，“アモルファストランスの損失解析と洋上風力発電用コンバータへの適用に関する研究”，東北大学博士学位論文 (2017)

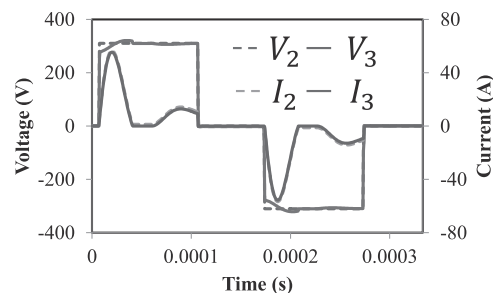


図 5. 1 層毎交互巻トランスの計算波形

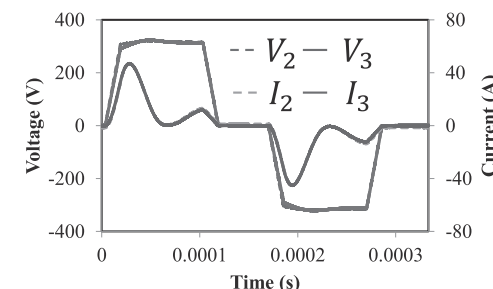


図 6. 1 層毎交互巻トランスの実測波形